

## ANALISIS DELAMINASI PLAT LAMINAT DENGAN SIMULASI GETARAN ABAQUS

**Bambang Surono<sup>1</sup>, I Made Miasa<sup>1</sup>, Rachmat Sriwijaya<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin dan Industri

Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281

\*Email: al.qodimy@gmail.com

### Abstrak

Studi ini mengajukan sebuah metode untuk mendiagnosa kerusakan pada struktur dengan menggunakan *time domain* dari hasil respon getaran. Pada penelitian ini dilakukan simulasi plat laminat berbentuk persegi dengan variasi letak delaminasi. Simulasi ini dilakukan dengan tujuan untuk membantu mengidentifikasi, menganalisa dan memprediksi kerusakan pada komposit laminat yang meliputi jenis kerusakan, ukuran, lokasi dan orientasi delaminasi sehingga dapat digunakan untuk mencegah kegagalan. Pada penelitian ini dilakukan analisis frekuensi alami dan mode shape plat laminat. Simulasi finite element menggunakan software ABAQUS/CAE 6.11. Metode yang di gunakan yaitu dengan mensimulasikan plat laminat dengan geometri 150 mm x 150 mm x 6 mm. Delaminasi berupa rongga 50  $\mu$ m dengan lebar 20 mm sepanjang lebarnya dengan boundary condition *fix-free*. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa delaminasi menurunkan nilai natural frequency dan dari mode shape dapat diketahui bahwa posisi delaminasi juga dapat menurunkan kekakuan dari plat laminat.

**Kata kunci:** Abaqus, delaminasi, mode shape, natural frequency, plat laminat

## 1. PENDAHULUAN

Seiring berjalannya waktu evolusi untuk rekayasa struktur pada berbagai zaman menunjukkan bahwa komposit memiliki arti penting (Ashby, 1999). Hal ini karena sifatnya yang dapat dirancang sesuai dengan kebutuhan karena dibentuk dengan dua atau lebih komponen (bahan penguat dan matrik) yang memiliki karakter yang berbeda dengan bahan-bahan pembentuknya (Agarwal dan Broutman, 1990; Matthews, 2000), dan kelebihan lainnya yang lain adalah secara makroskopis dicampur dengan tetap memiliki batas fasa yang jelas (Reinhardt dan Clement, 1989), dan dapat teridentifikasi (Weeton, dkk., 1990).

Salah satu unsur pokok yang digunakan dalam komposit selain *fibers*, *particles*, *flakes*, *filler* dan matrik adalah *laminat* atau *layer* (Schwartz, 1984). Komposit laminat yaitu komposit yang disusun dari beberapa lembaran-lembaran dan menjadi satu kesatuan dengan cara disusun berlapis-lapis. Sehingga dapat dipastikan diperlukan ikatan yang kuat antara lembaran yang satu dengan yang lainnya. Ketidak lekatan antar lapisan pada material komposit disebut dengan *delamination*. *Delamination* antar lapisan pada komposit tersebut dapat menyebabkan kerusakan atau kegagalan dan dapat mengurangi *modal frequency surface* (MFS) dan kekakuan lokal (Bettinotti, dkk. 2017).

Jika demikian maka diperlukan suatu cara untuk mengetahui *delamination* pada komposit laminat. Dengan diketahuinya *delamination* pada komposit dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk memprediksi atau mencegah kegagalan yang akan terjadi pada komposit laminat. Untuk itulah diperlukan suatu konsep untuk mengetahui, menganalisa dan memprediksi kerusakan pada komposit laminat yang meliputi jenis kerusakan, ukuran lokasi dan orientasi *delamination*. Hal ini bisa dilakukan dengan metode eksperimental atau *modelling* untuk mengetahui *delamination* pada komposit laminat.

Ousset (1999) melakukan simulasi terhadap peningkatan *delamination* pada plat komposit berlapis dan menyatakan bahwa energi total pada plat yaitu energi mekanik dan energi patah berhubungan dengan peningkatan *delamination*. Selanjutnya hasil permasalahan *non-linear* diselesaikan dengan metode Newton dan derivatif pertama dan kedua energi yang berhubungan dengan perpindahan retak dihasilkan dari metode analitis. Adapun Kessler, dkk. (2001) menyatakan bahwa *frequency response methode* bisa digunakan untuk mendeteksi kerusakan walaupun kecil pada struktur komposit meliputi jenis kerusakan, ukuran, lokasi dan orientasinya.

Ousset (1999) melakukan simulasi terhadap peningkatan *delamination* pada plat komposit berlapis dan menyatakan bahwa energi total pada plat yaitu energi mekanik dan energi patah berhubungan dengan peningkatan *delamination*. Selanjutnya hasil permasalahan *non-linear* diselesaikan dengan metode Newton dan derivatif pertama dan kedua energi yang berhubungan dengan perpindahan retak dihasilkan dari metode analitis. Adapun Kessler, dkk. (2001) menyatakan bahwa *frequency response method* bisa digunakan untuk mendeteksi kerusakan walaupun kecil pada struktur komposit meliputi jenis kerusakan, ukuran, lokasi dan orientasinya.

Johnson (2002) melakukan penelitian *acoustic emission* pada komposit laminat dengan menggunakan *principal component analysis* dan menyatakan bahwa metode ini bisa digunakan untuk melengkapi metode *non-destructive test*. Berbeda halnya dengan Yan dan Yam (2004) yang melakukan penelitian menggunakan spektrum energi pada *structural dynamic response decomposed* dengan analisis *wavelet* untuk mendeteksi kerusakan pada komposit *delaminat*. Adapun Tan dan Tong (2007) menggunakan *magnetostrictive composite sensor* dan *actuator*; dan juga pengujian eksperimen dan identifikasi analisis menggunakan *isolated PZT sensor* dan *actuator patches* untuk mendeteksi *delamination*.

Cappello dan Tumino (2005) melakukan analisis numerik pada plat komposit dengan *multiple delaminations* yang dihubungkan pada *unaxial buckling load* dan menyatakan bahwa diantara panjang dan posisi *delamination* dan urutan penyusunan lapisan mempengaruhi beban kritis pada plat. Adapun Alnefae (2009) melakukan pemodelan *finite element* pada komposit plat dengan *internal delamination* di mana *natural frequencies* dan *modal displacement* dikalkulasikan dengan berbagai studi kasus dengan dimensi dan karakter *delamination* yang berbeda di mana didapatkan hasil numeris yang sesuai dengan data dari eksperimen. Sedangkan Kumar, dkk. (2014) juga melakukan pemodelan *finite element analysis* getaran bebas pada plat komposit *delaminated* dengan *variable kinematic multilayered plates elements*. Sedangkan Garcia, dkk (2015) memadukan antara modeling dan eksperimen dengan melakukan diagnosa *vibration-base delamination* dan *modelling* pada plat komposit laminat di mana hasilnya dapat menampilkan perbedaan antara plat bagus dan terdelaminasi dengan ukuran dan lokasi *delaminations* yang berbeda. Berbeda halnya dengan Zhang, dkk (2016) yang melakukan penelitian deteksi *vibration-base delamination* tidak pada plat akan tetapi pada balok komposit dengan perubahan frekuensi dan hasilnya dapat digunakan untuk mengetahui lokasi dan *severity* dari *delamination* komposit balok dengan derajat keakuratan yang sangat tinggi.

Yang dan Oyadiji (2017) menggunakan *2D wavelet analysis of modal frequency surfaces* (MFS) untuk mendeteksi *delamination* pada plat komposit dan menyatakan bahwa *delamination* menyebabkan *discontinuity* pada MFS dari yang semestinya dan mengurangi kekakuan lokal, di mana *frequency derivations* terlihat menurun *quasi-exponential* seiring meningkatnya kedalaman *delamination*. Sedangkan Bettinotti, dkk. (2017) melakukan simulasi *delamination under impact* menggunakan *global-local method* pada *explicit dynamics* dan menyatakan bahwa metode ini sangat efektif dibandingkan dengan hasil yang dicapai sekarang yang tersedia di Abaqus/Explicit yaitu hubungan *constraint* antara perbedaan *region model* dan *sub-modelling* yang dicapai

Dari sekian pengujian, penelitian dan pemodelan yang ada selama ini cenderung hanya membahas metode eksperimen atau metode *modelling* saja. Masih sangat jarang yang memadukan keduanya sekaligus. Selain itu masih sangat jarang yang menganalisa frekuensi domain dan time domain yang didapatkan dari hasil eksperimen. Sedangkan dari sisi modelling masih sangat jarang yang memodelkan dari sisi *mode shape* pertama, kedua, ketiga dan seterusnya ketika variasi *delamination* berubah ubah. Oleh karena itu diperlukan suatu eksperimen yang menganalisa dari hasil *time domain* dan *frequency domain* atau pun *modelling* yang bisa menampilkan *mode shape* pertama, kedua, ketiga dan seterusnya.

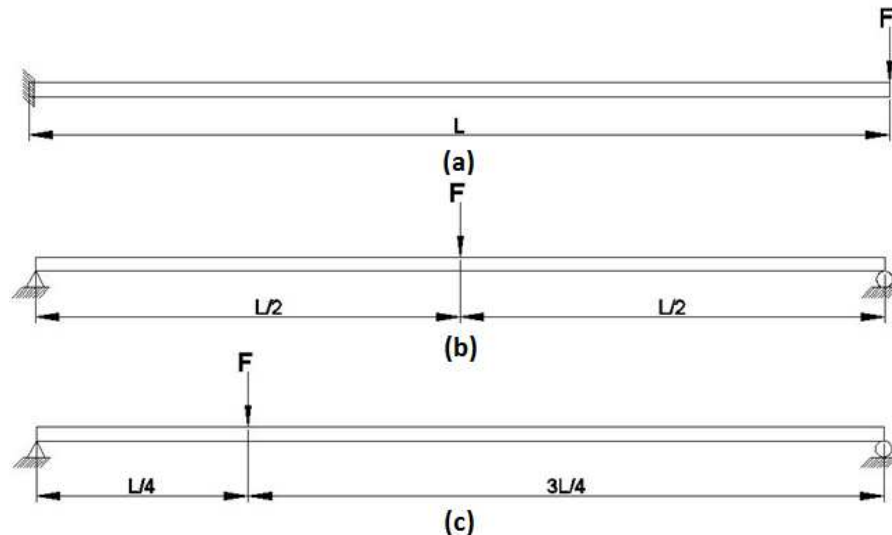
Pada penelitian ini dilakukan simulasi plat laminat berbentuk persegi dengan variasi letak *delaminasi*. Simulasi ini dilakukan dengan tujuan untuk membantu mengetahui, menganalisa dan memprediksi kerusakan pada komposit laminat yang meliputi jenis kerusakan, ukuran, lokasi dan orientasi *delamination* sehingga dapat digunakan untuk mencegah kegagalan.

## 2. METODOLOGI

Pada penelitian ini ada dua tahapan simulasi yang dilakukan, yaitu simulasi pembebanan penyebab *defect* atau kerusakan dan simulasi getaran *delamination* plat.

## 2.1. Pembebanan Penyebab Defect / Delamination

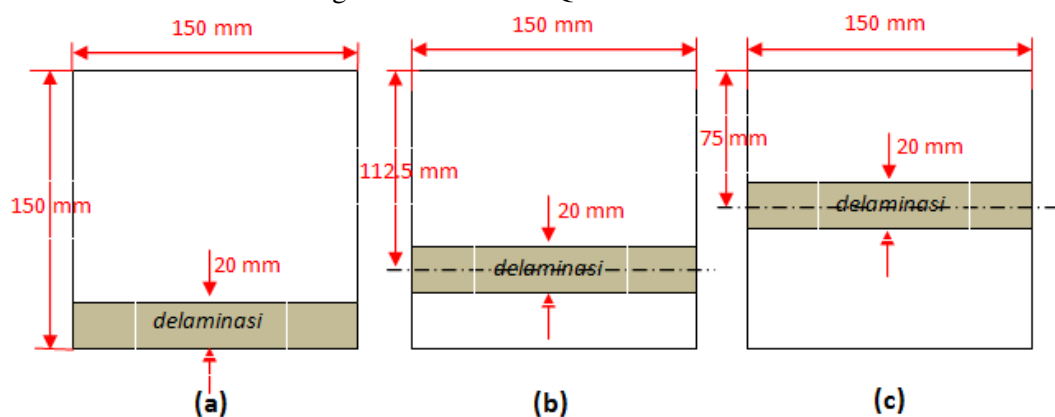
Variasi pembebanan akan menyebabkan *delamination* atau kerusakan pada plat laminat. Hal ini karena pengaruh tegangan yang terkonsentrasi pada titik tertentu dari plat laminat. Gambar 1 menunjukkan contoh jenis tumpuan dan letak pembebanan sepanjang lebarnya yang terjadi pada sebuah plat. Selanjutnya dari gambar 1a, 1b dan 1c secara berurutan disebut dengan posisi satu, posisi dua dan posisi tiga.



**Gambar 1. Variasi distribusi beban (F) merata sepanjang lebarnya pada posisi, (a) ujung tumpuan, (b) di tengah dan (c) seperempat panjang.**

## 2.2. Simulasi Delamination

Geometri plat laminat yang diteliti dapat dilihat pada gambar 2. Plat diberikan *delamination* dengan tebal 50  $\mu\text{m}$ . Selanjutnya untuk properties material yang diteliti adalah sebagai berikut  $E = 3,20 \text{ Gpa}$ ,  $\nu = 0,375$ , dan  $\rho = 1190 \text{ kg/m}^3$ . *Natural frequency* dan *mode shape* didapatkan dari proses simulasi finite element dengan software ABAQUS/CAE 11.6.



**Gambar 2. Geometri plat lamina simulasi (a) posisi satu, (b) posisi dua dan (c) posisi tiga**

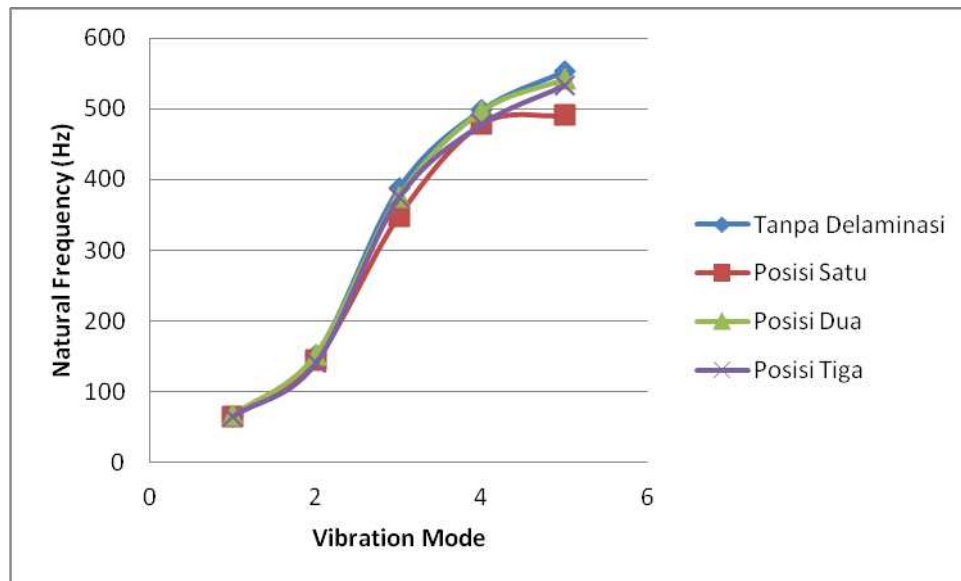
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Natural Frequency

Dari hasil simulasi selanjutnya diperoleh nilai *natural frequency* sebagaimana yang ditampilkan Tabel 1.

**Tabel 1. Nilai *natural frequency* hasil simulasi**

Variasi Delaminasi	N F-1	N F-2	N F-3	N F-4	N F-5
Tanpa Delaminasi/solid	6	1	3	4	5
	4.571	51.5	87.07	98.5	53.24
Posisi Satu	6	1	3	4	4
	4.701	45.11	47.72	78.33	90.52
Posisi Dua	6	1	3	4	5
	5.888	51.84	75.59	96.65	42.32
Posisi Tiga	6	1	3	4	5
	5.229	40.48	74.3	78.77	33.84

**Gambar 2. Grafik hubungan *natural frequency*-posisi delaminasi hasil simulasi**

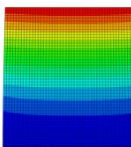
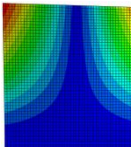
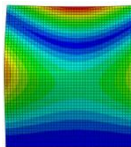
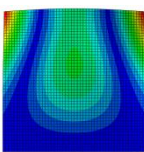
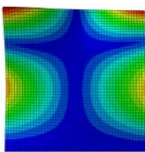
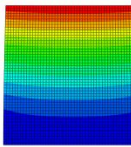
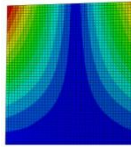
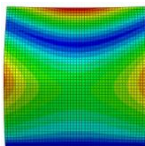
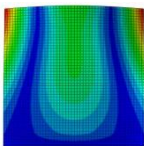
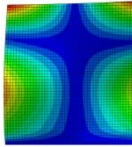
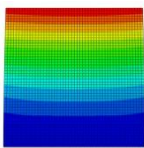
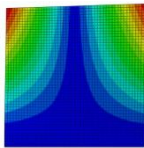
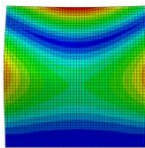
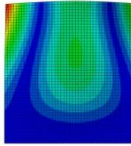
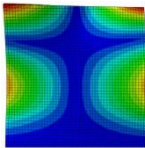
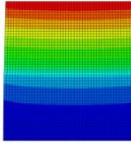
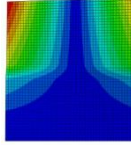
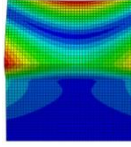
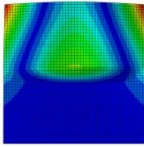
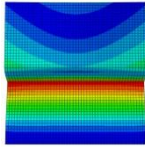
Dari Tabel 1 di atas, dapat dilihat bahwa adanya delaminasi menurunkan nilai *natural frequency* dari suatu plat laminat. Hal ini terjadi pada semua posisi, baik itu pada posisi satu, dua atau pun pada posisi tiga. Di mana dapat dilihat bahwasanya nilai *natural frequency* dengan delaminasi lebih kecil jika dibandingkan tanpa delaminasi.

Sedangkan di sisi lain, variasi posisi juga sangat mempengaruhi besarnya nilai *natural frequency*. Di mana posisi delaminasi terhadap tumpuannya tidak serta merta bisa untuk memprediksi apakah nilai *natural frequency* mengalami kenaikan ataupun penurunan. Dari Gambar 2 menunjukkan bahwasanya nilai *natural frequency* pada posisi satu, dua dan tiga tidak menunjukkan kenaikan atau pun penurunan. Akan tetapi nilainya tidak bisa diprediksi.

### 3.2. Mode Shape

*Mode shape* hasil simulasi selanjutnya dapat dilihat sebagaimana yang ditampilkan Tabel 2.

Tabel 2. Mode shape hasil simulasi

o	Variasi	Mode Shape 1	Mode Shape 2	Mode Shape 3	Mode Shape 4	Mode Shape 5
	Tanpa Delaminasi/Solid					
	Posisi Satu					
	Posisi Dua					
	Posisi Tiga					

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwasanya *mode shape* dari variasi posisi delaminasi dan plat tidak terdelaminasi atau *solid* tidak terlalu banyak perbedaan. Perbedaan yang sangat jelas hanya terlihat pada posisi ketiga pada *mode shape* ke-dua sampai ke-empat, di mana dapat dilihat bahwa delaminasi yang berada di tengah plat bisa mengurangi kekakuan plat yang sangat signifikan. Selain itu *mode shape* yang terjadi hampir terlihat sama persis.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- (1) *Delamination* dapat diidentifikasi dengan menggunakan simulasi getaran.
- (2) Posisi delaminasi dapat ditentukan dengan mengamati perubahan mode shape hasil simulasi getaran.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Departemen Teknik Mesin dan Industri FT-UGM atas dukungan yang telah berikan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal B. D. and L. J. Broutman. 1990. *Analysis and Performance of Fiber Composites*, 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Alnefaie, K., 2009, "Finite Element Modelling of Composite Plates with Internal Delamination", *Composite Structures* 90, pp. 21–27
- Ashby, M. F., 1999, "Materials selection in mechanical design", Second ed. Oxford: Pergamon Press.
- Bettinottia, O., Allixb, O., Peregoc, U., Oanceaa, V., Malherbed, B., "Simulation Of Delamination Under Impact Using A Global-Local Method In Explicit Dynamics," *Finite Element in Analysis and Design* 125, pp. 1-13

- Cappello, F., and Tumino, D., 2005, "Numerical Analysis Of Composite Plates With Multiple Delaminations Subjected To Uniaxial Buckling Load," *Composites Science and Technology* 66, pp. 264–272
- Garcia A, D., Palazzetti B, R., Trendafilova A, I., Fiorini C, C., Zucchelli D, A., 2015, "Vibration-Based Delamination Diagnosis And Modelling For Composite Laminate Plates," *Composite Structures*, vol. 130, pp. 155 - 152
- Jonshon, J., 2001, "Waveform Based Clustering And Classification Of Ae Transients In Composite Laminates Using Principal Component Analysis," *NDT E & International* 35, pp. 367-376
- Kessler, S.S., Spreaung, S.M., Atalla, M.J., Cesnik, C.E.S., Soutis, C., 2001, "Damage Detection In Composite Material Using Frequency Responce Methonde", *Composites: Part B* 33, pp. 87-95
- Kumar A,B. S.K., Cinefra B, M., Carrera B, E., Ganguli A, R., Harursampath A, D., 2014, "Finite Element Analysis Of Free Vibration Of The Delaminated Composite Plate With Variable Kinematic Multilayer Plate Element, *Composites: Part B* 66, pp. 453–465
- Ousset, Y., 1999, "Numerical Simulation Of Delamination Growth In Layered Composite Plates," *Eur. J. Me& A/Solids* 18 (1999) 291-312
- Reinhardt, T.J., dan Clements, L.L., 1989, "Introduction to Composites," in *Engineered Material handbook*. Vol 1. Composites Conshohoken: ASM Inyernational, pp. 28-34
- Schwartz, M.M., 1984, "Composite Material Handbook", Mc Graw-Hill, Singapura.
- Shahdin, A., Morlier, J., and Gourinat, Y., "Correlating Low-Energy Impact Damage With Changes In Modal Parameters: A Preliminary Study On Composite Beams," *Structural Health Monitoring*, pp. 523-536
- Tan, P., and Tong, L., 2006, "Experimental And Analytical Indenfication Of A Delamiantion Using Isolated Pzt Sensor And Actuator Patches", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, pp. 831-846
- Tan, P., and Tong, L., 2006, "Delamination Detection Of A Laminated Beam Using Magnetostrictive Composite Sensor And Actuator," *Journal of Composite Material*, pp. 477-491
- Weeton, J.W., Peters, D.W., dan Thomas, K.L., 1990, "Engineer' guide to composites," *Composites Structures*, vol. 54, pp. 355-360
- Yan A, Y.J., Yam B, L.H., 2003, "Detection Of Delamination Damage In Composite Plates Using Energy Spectrum Of Structural Dynamic Responses Decomposed By Wavelet Analysis," *Computers and Structures* 82, pp. 347–358
- Yang, C., Oyadiji, S.O., 2016, "Delamination Detection In Composite Laminate Plates Using 2d Wavelet Analysis Of Modal Frequency Surface," *Computers and Structures* 179, pp.109–126
- Zhifangzhang, Shankar, K., Morozov, E.V., and Tahtali, M., "Vibration-Based Detection In Composite Beams Trough Frequency Changes,, *Journal of Vibration and Control* , Vol. 22(2), pp. 496–512